

UJI PERFORMA MODUL PELTIER TIPE TEC1-12715 SEBAGAI SISTEM PENDINGIN PADA COOLBOX

Lusyeheni Maria Bonggoibo, Tobias Tobi Tukan, Ishak Samuel Erari, Kwasti Kartono
Kardiputra, Elo Hansen Padang

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Papua, Manokwari, 98314, Indonesia
Jalan Gunung Salju Amban, Manokwari

Koresponden: t.tukan@unipa.ac.id

ABSTRACT

A Peltier module is a type of Thermoelectric Cooler (TEC) utilized in this study as the cooling system for a coolbox. The objective of this research is to analyze the cooling rate, the lowest achievable temperature, and the performance of the Peltier module by varying the number of modules and the cooling load. The experiment was conducted using variations in the number of Peltier modules (one and two) and variations in the cooling load an empty coolbox and a coolbox containing 1 liter of water. The results indicate that using two Peltier modules accelerates the cooling process and achieves a lower minimum temperature. The lowest temperatures recorded for the empty coolbox were 21^oC for one module and 19.8^oC for two modules. For the coolbox containing 1 liter of water, the lowest temperatures achieved were 22.9^oC for one module and 22.6^oC for two modules. An increase in the number of modules leads to a greater amount of heat extracted. The heat extracted by one Peltier module in the empty coolbox was 2882.4 J and 3270.1 J for two Peltier modules. In the coolbox containing 1 liter of water, the heat extracted was 22608.55 J for one module and 27418.9 J for two modules. This study also determined the Coefficient of Performance (COP) of the Peltier module system. The COP for the empty coolbox was 4.38% for one module and 3.66% for two modules. Conversely, the COP for the coolbox with 1 liter of water was 2.75% for one module and 2.31% for two modules. The highest COP recorded was 4.38% for one module and 3.66% for two modules, both occurring when the coolbox was empty coolbox (no load).

Keywords: Thermoelectric Cooler, Peltier Module, Heat, Coolbox, Temperature, COP.

PENDAHULUAN

Pendingin sangat diperlukan sebagai tempat penyimpanan yang awet bagi bahan makanan, ikan, sayuran, dan buah-buahan agar dapat tersimpan dengan waktu yang lama. Sistem pendingin yang banyak ditemui secara luas dipasaran adalah kulkas. Kulkas menggunakan sistem kompresi sehingga memerlukan energi listrik yang cukup tinggi bagi kompresor untuk menekan uap freon menjadi cairan freon. Freon sendiri mengandung *chlorofluorocarbons* (CFC) sehingga dapat mengganggu lapisan ozon jika terurai di udara dan juga sistem model kompresi ini biasanya lebih besar, lebih berat dan tidak bisa dibawa kemana-mana.

Kekurangan lain yang dimiliki oleh sistem kompresi adalah kebocoran yang selalu terjadi sebab selain tekanan tinggi, freon kekentalannya sangat rendah sehingga mudah untuk mengalir keluar melewati lubang sekecil apapun (Mirmanto *et al.* (2021).

Salah satu upaya yang dapat menjadi solusinya yaitu dengan memanfaatkan salah satu metode termoelektrik. Metode termoelektrik memanfaatkan efek peltier dalam sistemnya sebagai pompa kalor. Dibutuhkan alat yang dapat membuang kalor ke lingkungan dengan baik dan cepat yaitu dengan menggunakan kipas dan

sirip-sirip sebagai pompa kalor dan *heatsink* pada modul peltier.

Kotak pendingin yang menggunakan termoelektrik sebagai sumber pendingin kotak sudah banyak diteliti, terutama dari tipe TEC-12706. Penelitian dari TEC-12706 sebagai sumber pendingin kotak yang sudah diteliti, diantaranya oleh Gultom *et al.* (2016), Aziz *et al.* (2017), dan Mirmanto *et al.* (2018). Namun sumber pendingin kotak berbasis TEC-12715 belum banyak diteliti kinerjanya sebagai pendingin ruangan kotak pendingin. Menurut Mainil *et al.* (2018) modul peltier tipe TEC1-12715 memiliki karakteristik lebih tinggi dan baik daripada modul peltier tipe TEC1-12706. Modul peltier ini mampu menghasilkan kapasitas pendinginan lebih besar yaitu maksimum 231 W.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan menggunakan modul Peltier tipe TEC1-12715 melalui variasi jumlah modul pada *coolbox*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah modul terhadap laju perubahan temperatur, menentukan besarnya energi kalor yang dilepas pada setiap variasi beban, serta mengevaluasi performa sistem secara spesifik guna mendapatkan kesimpulan mengenai efektivitas kinerja modul TEC1-12715 pada sistem pendingin tersebut.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Instrumentasi dan Energi Jurusan Fisika Universitas Papua Manokwari selama 3 bulan, dari bulan Maret sampai dengan Mei 2022.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari multimeter, tangmeter, thermometer, timbangan digital, *stopwatch*, adaptor 12 V, lem konduktif, gelas ukur dan pisau pemotong.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya: *coolbox*

styrofoam, modul peltier, kipas, heatsink, air dan wadah *stainless steel*.

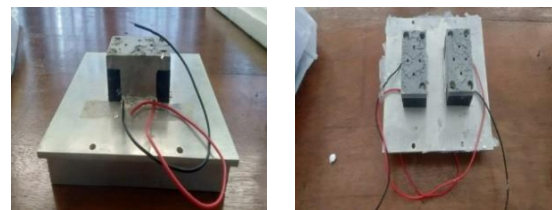
Variabel Pengamatan

Variabel pengamatan penelitian adalah : besar arus dan tegangan pada setiap saat, temperatur panas dan dingin pada wadah setiap saat dan temperatur minimum dan maximum di dalam wadah yang dapat dicapai setiap variasi jumlah modul peltier.

Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan perlakuan yaitu penggunaan variasi isi *coolbox* dan jumlah modul peltier 1 dan 2 buah modul dengan luasan *heatsink* yang sama.

Penelitian diawali dengan studi literatur untuk mengetahui pengembangan termoelektrik dan modul peltier. Selanjutnya persiapan alat dan bahan yang digunakan dan desain rangkaian *heatsink* dan modul peltier. Desain rangkaian seperti pada Gambar 1.



(a)

(b)

Gambar 1. Tampilan fisik (a) satu modul (b) dua modul

Setelah desain rangkaian pada Gambar 1, selanjutnya adalah perancangan alat yang dipasang modul peltier untuk membuang kalor. Adapun langkah-langkahnya yaitu: siapkan kotak *coolbox* yang akan digunakan, tutupi sisi dalam *coolbox* dengan plat aluminium yang bertujuan mempermudah proses penyerapan kalor, buat lubang bentuk kotak sesuai ukuran dengan *coldsink* pada satu sisi *coolbox* yang sudah disiapkan. Pastikan tidak ada ruang yang tersisa agar sistem pembuangan tidak terpengaruh dan variasikan jumlah modul yang dipasang pada *coolbox*. Rancangan alat pada seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Rancangan coolbox bersistem pendingin peltier

Pengambilan Data

Setelah semua peralatan disiapkan maka tahap berikut adalah pengambilan data penelitian yaitu mengukur suhu awal dalam coolbox kosong sebelum menyalakan sumber daya. Selanjutnya dengan sumber daya telah di nyalakan catat suhu setiap 5 menit. Pengukuran ini dilakukan hingga suhu didalam pendingin coolbox konstan. Ulangi langkah-langkah di atas dengan mengubah jumlah modul. Dengan langkah yang sama pada pengukuran yang dilakukan terhadap 1 liter air yang dimasukkan ke dalam pendingin coolbox.

Pengolahan Data

Perhitungan jumlah kalor yang diserap oleh modul peltier.

$$Q_c = m \cdot c \cdot \Delta T \tag{1}$$

dengan Q_c kalor yang diserap (Joule), m adalah massa (kg), c adalah kalor jenis zat (J/kg°C) dan ΔT adalah perubahan suhu (°C) (Tipler, P. A. 1991).

Kalor diserap oleh peltier dari dua medium berbeda, yaitu udara dan air. Oleh karena itu, besaran massa yang digunakan dalam perhitungan adalah massa jenis kedua fluida tersebut, yakni $\rho_{udara} = 1,29 \text{ kg/m}^3$ dan $\rho_{air} = 1000 \text{ kg/m}^3$.

Energi listrik yang digunakan pada proses pengambilan data:

$$W = P_{in} \times t \tag{2}$$

dengan W adalah energi listrik yang digunakan (Joule), P_{in} adalah daya yang masuk (Watt) dan t merupakan waktu yang dibutuhkan (s) (Jatmiko, 2014).

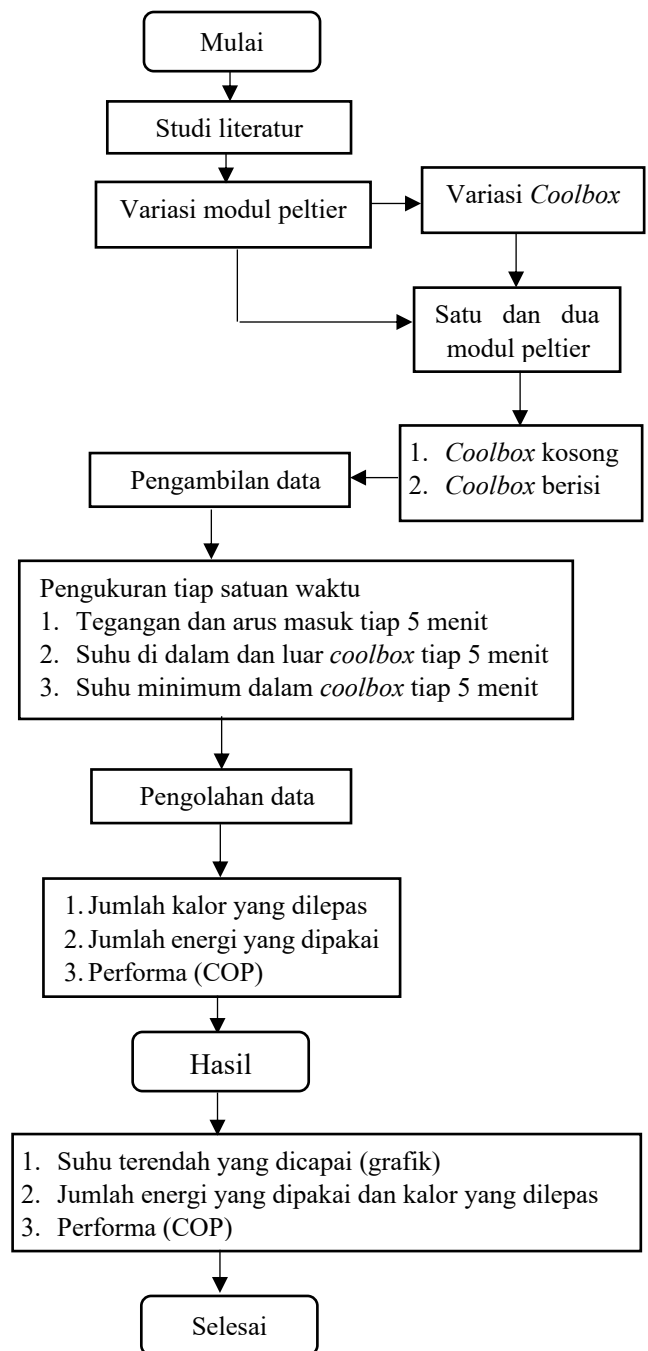
Persamaan perhitungan *coefficient of performance* (COP) modul peltier

$$COP = \frac{Q_c}{W} \tag{3}$$

Analisis Data

Analisis data adalah langkah akhir dari semua proses penelitian yaitu data-data tersebut akan diolah dalam bentuk grafik pada *software Microsoft excel*. Hasil yang didapatkan dikelompokkan berdasarkan variasi jumlah peltier, dan variasi beban pendingin. Dari analisis data ini akan diperoleh kinerja modul peltier.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

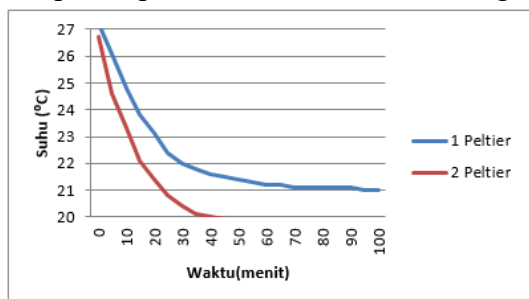
Data yang berhasil dikumpulkan selanjutnya diproses untuk menghasilkan informasi penting, mencakup: penurunan suhu dalam periode waktu tertentu, suhu minimum yang diperoleh, seberapa cepat proses pendinginan berlangsung, total kalor yang berhasil diserap oleh modul peltier, konsumsi energi listrik, dan tingkat performa tercapai.

Suhu awal setiap pengambilan data menunjukkan variasi yang signifikan, dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan waktu pengujian. Pengumpulan data suhu ini dilanjutkan hingga tercapai kondisi suhu konstan. Durasi total pencatatan data untuk *coolbox* kosong adalah 100 menit saat menggunakan 1 modul peltier, dan 50 menit ketika menggunakan 2 modul peltier. Sementara itu, untuk *coolbox* yang diberi beban pendinginan berupa 1 liter air, pengujian berlangsung selama 420 menit untuk 1 modul peltier dan 400 menit untuk 2 modul peltier.

Kecepatan Pendingin dan Suhu Rendah yang Dicapai

Coolbox Kosong (Tanpa Beban)

Kondisi tanpa beban pada *coolbox* terdiri dari 0,01624 m³ udara dan 0,4932 kg pelat aluminium. Grafik pada gambar 4 menyajikan mengenai penurunan suhu tiap satuan waktu yang dicapai oleh masing-masing modul peltier saat beroperasi pada kondisi *coolbox* kosong.



Gambar 4. Grafik penurunan suhu per satuan waktu pada *coolbox* kosong

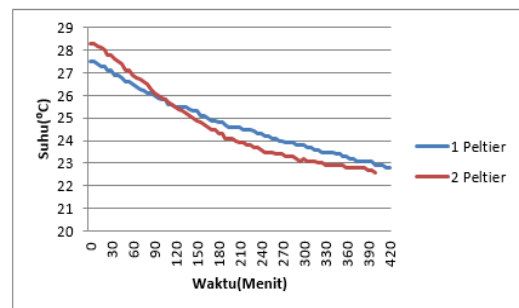
Pada Gambar 4 dapat dilihat laju penurunan suhu dari yang besar sampai

kecil dimulai dengan peltier yang berjumlah dua, kemudian terakhir adalah peltier berjumlah satu. Suhu awal dalam *coolbox* 27⁰C untuk satu peltier dan 26,7⁰C untuk dua peltier kemudian turun hingga konstan 21⁰C untuk satu peltier, dan 19,8⁰C untuk dua peltier. Suhu terendah yang dicapai tidak jauh berbeda dengan suhu yang dicapai oleh modul peltier tipe 12706 yang diteliti oleh (Merdekawati *et al* ,2021) dimana suhu dalam penelitiannya suhu terendah yang diperoleh untuk *coolbox* kosong adalah 21⁰C untuk satu peltier dan 19⁰C untuk dua peltier. Namun yang berbeda disini adalah waktu dicapainya suhu terendah pada modul peltier tipe 12706 adalah 100 menit sedangkan pada modul peltier tipe 12715 waktunya adalah 50 menit untuk 2 modul peltier.

Kecepatan pendinginan rata-rata hingga suhu menjadi konstan adalah 0,06⁰C/menit untuk satu peltier dan 0,07⁰C/menit untuk dua peltier. Berdasarkan data ini, urutan kecepatan pendinginan dari yang tertinggi hingga terendah untuk mencapai suhu konstan adalah dua peltier dan satu peltier.

Coolbox dengan Beban 1 Liter Air

Coolbox tersebut kemudian diuji ulang setelah diberi beban tambahan: 1 liter air dan wadah *Stainless steel* yang memiliki massa 0,401 kg. Kinerja penurunan suhu setiap satuan waktu dihasilkan oleh masing-masing modul peltier selama pengujian ini dapat diamati



pada Gambar 5.

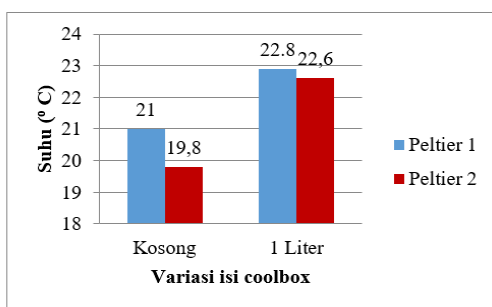
Gambar 5. Grafik penurunan suhu per satuan waktu pada *coolbox* berisi 1 liter air

Pada Gambar 5 suhu air mula-mula adalah 27,5⁰C untuk satu peltier dan

28,3^oC untuk dua peltier kemudian turun hingga mencapai suhu konstan yaitu 22,8^oC untuk satu peltier, 22,6^oC untuk dua peltier. Suhu terendah yang dicapai sedikit jauh berbeda dengan suhu yang dicapai oleh modul peltier tipe 12706 yang diteliti oleh (Merdekawati *et al* ,2021) dimana dalam penelitiannya suhu terendah yang diperoleh untuk *coolbox* kosong adalah 21,5^oC untuk satu peltier dan 19,5^oC untuk dua peltier dalam kurung waktu 325 menit atau 5 jam 25 menit sedangkan pada modul Peltier tipe 12715 adalah 400 menit 6 jam 20 menit.

Rata-rata kecepatan penurunan suhu yang diperlukan untuk mencapai suhu konstan tercatat sebesar 0,01136^oC/s untuk satu modul peltier, dan meningkat menjadi 0,0141^oC/s saat menggunakan dua modul peltier. Oleh karena itu, urutan laju pendinginan tertinggi menuju suhu konstan adalah dua peltier, diikuti oleh satu peltier.

Penggunaan peltier menyebabkan suhu *coolbox* menurun secara perlahan-lahan hingga mencapai titik suhu terendah yang tidak bisa turun lagi. Suhu terendah ini, yang disajikan pada Gambar 6, dicapai ketika suhu menjadi konstan. Hal ini terjadi karena aliran fluks kalor yang keluar dari *coolbox* telah sebanding dengan aliran fluks kalor yang masuk.



Gambar 6. Diagram suhu terendah yang dicapai tiap rangkaian

Peningkatan jumlah modul peltier yang digunakan dalam sistem akan menyebabkan peningkatan laju penarikan kalor keluar dari *coolbox*. Akibatnya, terjadi penurunan suhu yang lebih signifikan di dalam pendingin. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan

oleh Mainil *et al.* (2015), yang menyatakan bahwa terdapat hubungan yang berbanding lurus antara jumlah modul peltier dan penurunan suhu yang dicapai.

Waktu pendinginan dibutuhkan oleh modul bervariasi tergantung pada beban pendingin. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1, *coolbox* kosong membutuhkan waktu yang lebih singkat mencapai suhu konstan dibandingkan dengan *coolbox* yang berisi 1 liter air. Hal ini karena adanya jumlah kalor yang lebih besar yang harus ditarik dari air. Semakin besar beban pendingin, semakin lama waktu pendinginan yang diperlukan. Modul dengan dua peltier menunjukkan waktu pendinginan lebih cepat untuk semua kondisi, sedangkan modul satu peltier memerlukan waktu terlama.

Tabel 1. Waktu modul untuk mencapai suhu konstan

Jumlah Peltier	Waktu dibutuhkan sampai suhu konstan (menit)	
	Kosong	1 liter
1	100	420
2	50	400

Terdapat perbedaan kecepatan pendinginan, seperti yang disajikan pada Tabel 2. Kecepatan pendinginan untuk mencapai suhu konstan, dari yang terbesar hingga terkecil, berturut-turut adalah dua peltier dan satu peltier. Hasil ini mengindikasikan bahwa peningkatan jumlah modul peltier yang digunakan berkorelasi positif dengan peningkatan laju penurunan suhu.

Tabel 2. Kecepatan penurunan suhu rata-rata sampai mendapatkan suhu konstan

Jumlah Peltier	Kecepatan penurunan suhu rata-rata sampai suhu konstan (^o C/menit)	
	Kosong	1 liter
1	0,06	0,0136
2	0,07	0,0141

Energi Listrik yang Dipakai untuk Menarik Kalor

Mengacu pada persamaan yang digunakan pada penelitian ini, energi

listrik yang digunakan termoelektrik untuk menarik kalor atau mendinginkan isi *coolbox* bergantung pada daya listrik dan waktu sedangkan energi panas atau kalor yang ditarik bergantung pada jumlah massa, kapasitas panas dan perubahan temperatur.

Data perubahan temperatur dan waktu yang dibutuhkan menggunakan pendinginan satu peltier dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Data suhu awal, suhu terendah yang dapat dicapai, ΔT , waktu yang dibutuhkan menggunakan satu peltier

Beban Air (kg)	Suhu Awal ($^{\circ}C$)	Suhu Terendah ($^{\circ}C$)	ΔT ($^{\circ}C$)	Waktu (menit)
0,00	27,2	21	6,2	100
1,00	27,5	22,8	4,7	420

Sedangkan data perubahan temperatur dan waktu yang dibutuhkan menggunakan pendinginan dua peltier dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Data suhu awal, suhu terendah yang dapat dicapai, ΔT , waktu yang dibutuhkan menggunakan dua peltier

Beban Air (kg)	Suhu Awal ($^{\circ}C$)	Suhu Terendah ($^{\circ}C$)	ΔT ($^{\circ}C$)	Waktu (menit)
0,00	26,7	19,8	6,9	50
1,00	28,3	22,6	5,7	400

Dengan $\Delta T =$ suhu awal – suhu terendah. Sedangkan waktu dibutuhkan adalah waktu dibutuhkan dari suhu awal hingga air mencapai suhu terendah.

Hasil perhitungan kalor yang dikeluarkan (dibuang), energi listrik yang dibutuhkan dan peforma (COP) untuk pendingin dengan satu dan dua peltier berturut-turut dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6 berikut ini.

Tabel 5. Kalor dikeluarkan, energi listrik dibutuhkan dan COP untuk satu peltier

Beban Air (kg)	Total kalor dibuang (J)	Total energi listrik yang dibutuhkan (J)	COP rata-rata
0,00	2882,4	278218,7	4,38
1,00	22608,55	1024512,13	2,75

Tabel 6. Kalor dikeluarkan, energi listrik dibutuhkan dan COP untuk dua peltier

Beban Air (kg)	Total kalor dibuang (J)	Total energi listrik yang dibutuhkan (J)	COP rata-rata
0,00	3270,1	195975	3,66
1,00	27418,9	1144045	2,30

Petunjuk:

1. Total kalor yang dikeluarkan adalah $(m_a c_a + m_w c_w) \Delta T$. m_a adalah massa air, c_a adalah kapasitas panas jenis air, m_w adalah massa wadah penampung air, c_w adalah kapasitas panas jenis wadah.
2. Total energi listrik = $V \cdot I \cdot t$. Ambil V rata-rata, I rata-rata, dan t adalah waktu yang diperlukan dari suhu awal hingga mencapai suhu terendah.
3. COP rata-rata = Jumlah seluruh COP pada beban tersebut di bagi dengan jumlah data

$$\overline{COP} = \frac{\sum COP}{n}$$

Energi panas atau kalor yang harus ditarik oleh termoelektrik dan energi listrik yang digunakan pada penelitian ini berbeda tiap variasi beban pendinginan.

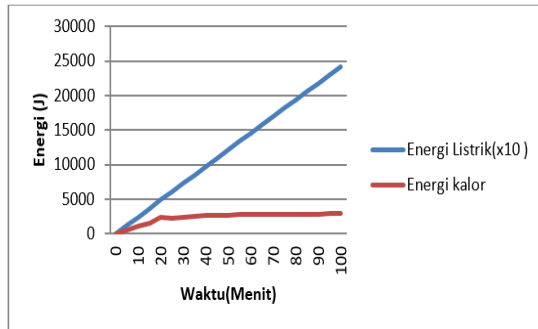
Coolbox Kosong

Bagian dalam *coolbox* dilapisi oleh pelat alumunium yang bertujuan untuk memperluas daerah tarikan kalor dan juga thermometer untuk mengukur penurunan suhu. Berdasarkan Persamaan 1, besar kalor bergantung pada massa, koefisien, dan perubahan temperatur.

Dengan demikian dapat diketahui massa pelat alumunium (m_{Al}) 0,4932 kg, kalor jenis alumunium (c_{Al}) 900 J/kg $^{\circ}C$, kalor jenis udara (c_u): 1006 J/kg $^{\circ}C$ massa udara (m_u) 0,0206 kg yang diperoleh dari massa jenis udara 1,29 kg/m 3 dikali dengan volume *coolbox* 0,29 x 0,20 x 0,28 m 3 .

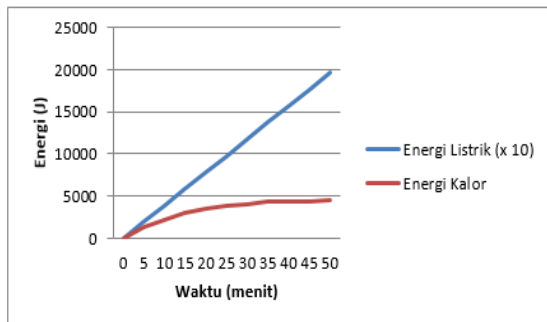
$$Q_0 = [(m_{Al} \cdot c_{Al}) + (m_u \cdot c_u)] \Delta T \quad (4)$$

Perbandingan jumlah energi listrik yang digunakan dan kalor yang ditarik pada penelitian dapat dilihat dalam grafik berikut.



Gambar 7. Grafik jumlah energi listrik dan kalor tiap waktu pada coolbox kosong oleh 1 modul peltier

Pada Gambar 7, jumlah kalor yang ditarik terus naik pada menit ke 20 hingga 100 dengan akumulasi energi kalor konstan pada satu titik yaitu saat mencapai 3000 J (garis merah).



Gambar 8. Grafik jumlah energi listrik dan kalor tiap waktu pada coolbox kosong oleh 2 modul peltier

Pada Gambar 8, jumlah kalor yang ditarik terus naik hingga pada satu titik dan konstan, yaitu saat mencapai 4297,2 J.

Coolbox Berisi 1 Liter Air

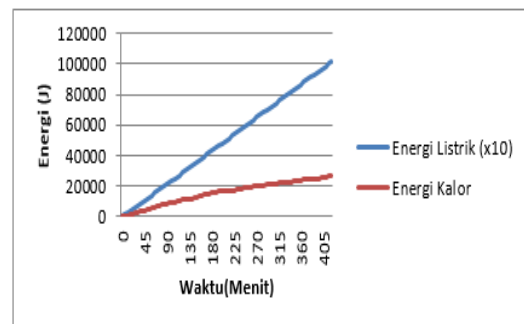
Berikutnya coolbox dengan beban pendinginan yakni 1 liter air. Hal ini otomatis membuat jumlah kalor pada coolbox bertambah. Selain 1 liter air, juga digunakan 1 buah wadah yang terbuat dari stainless steel untuk menampung air dan beberapa sterofom untuk mengangkat wadah stainless steel agar lebih mudah dijangkau oleh thermometer.

Dengan demikian dapat diketahui massa pelat alumunium (m_{Al}) 0,4932 kg, massa air (m_a) 1 kg, massa wadah air (m_s)

0,401 kg, kalor jenis alumunium (c_{Al}) 900 J/kgC°, kalor jenis stainless steel (c_s), 450 J/kgC° dan kalor jenis air (c_a) 4,186 J/kgC°.

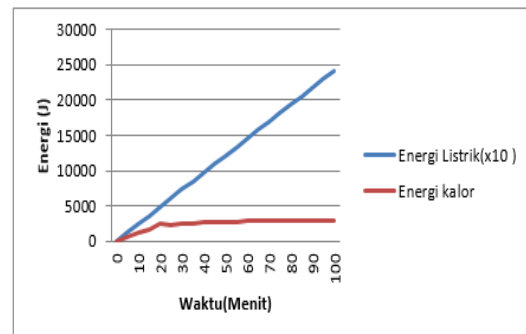
$$Q_2 = [(m_{Al} \cdot c_{Al}) + (m_s \cdot c_s) + (m_a \cdot c_a)]\Delta T \quad (6)$$

Perbandingan jumlah energi listrik yang digunakan dan kalor yang ditarik pada penelitian dapat dilihat dalam grafik berikut.



Gambar 9. Grafik jumlah energi listrik dan kalor tiap waktu pada coolbox 1 liter air oleh 1 modul peltier

Pada Gambar 9, jumlah kalor yang ditarik terus naik hingga satu titik dan konstan, yaitu saat mencapai 22608,55 J.



Gambar 10. Grafik jumlah energi listrik dan kalor tiap waktu pada coolbox 1 liter air oleh 2 modul peltier.

Pada Gambar 10, jumlah kalor yang ditarik terus naik hingga satu titik dan konstan, yaitu saat mencapai 27418,9 J.

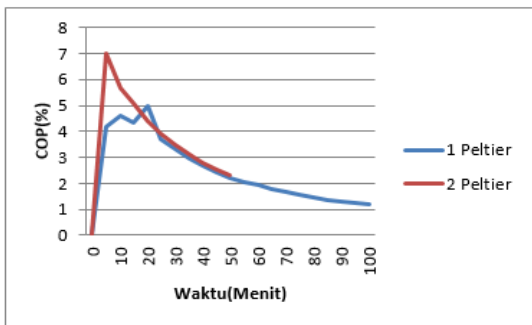
Pada keempat grafik di atas, jumlah energi yang dipakai dan kalor yang dilepas oleh peltier memiliki perbedaan sangat jauh. Energi listrik terpakai cenderung linear dan terus meningkat. Ini disebabkan besar energi listrik bergantung pada

waktu. Kalor yang dilepas mengalami kenaikan perlahan, kemudian melambat hingga pada waktu tertentu suhunya tidak mengalami penurunan lagi. Hal ini menjelaskan bahwa adanya batasan kalor yang dapat dilepas oleh modul. Besar kalor bergantung pada penurunan suhu.

Menentukan COP

Besar COP tiap rangkaian dan tiap variasi isi *coolbox* berbeda-beda, dapat ditunjukkan pada grafik berikut ini.

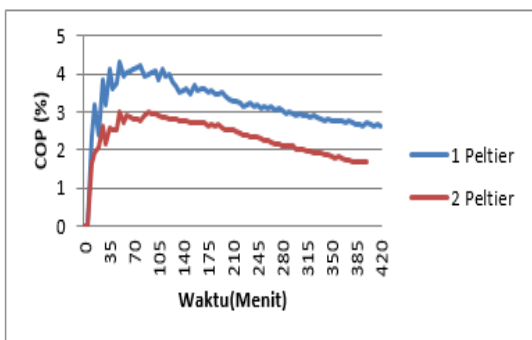
Coolbox Kosong



Gambar 11. Grafik COP pada *coolbox* kosong

Pada Gambar 11 penelitian ini, nilai COP rata-rata untuk 1 peltier adalah 4,38% untuk 2 peltier adalah 3,66%.

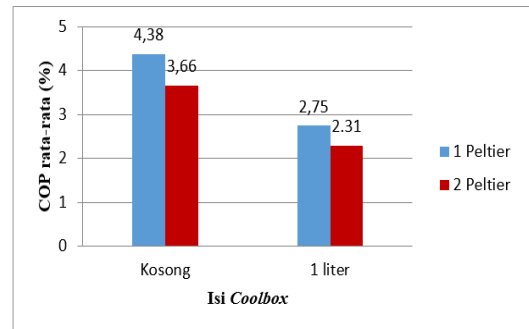
Coolbox Berisi 1 Liter Air



Gambar 12. Grafik COP pada *coolbox* berisi 1 liter air

Pada Gambar 12 penelitian ini, nilai COP rata-rata untuk 1 peltier adalah 2,75%, untuk 2 peltier adalah 2,30%.

Nilai COP rata-rata pada setiap rangkaian dapat digambarkan dalam diagram batang sebagai berikut.



Gambar 13. Diagram nilai COP rata-rata pada semua rangkaian

Pada Gambar 13, dapat lihat bahwa nilai COP rata-rata jika dari yang paling terbesar hingga terkecil, maka urutannya adalah 1 peltier lalu 2 peltier. Pada *coolbox* kosong urutannya 1 peltier lalu 2 peltier. Pada *coolbox* berisi 1 liter urutannya juga masih tetap sama yaitu yang terbesar adalah 1 peltier lalu 2 peltier.

Menurut Merdekawati *et al* (2021), menyatakan semakin tinggi nilai COP, maka semakin baik performansi modul yang digunakan tersebut. Dilihat dari data yang diperoleh selama penelitian maka dapat dijelaskan bahwa performansi yang paling baik adalah performansi dari 1 peltier lalu diikuti oleh 2 peltier.

Menurut Gucu dan Cuce (2018), jika pertukaran panas pada *heatsink* dengan lingkungan berjalan baik, maka COP akan meningkat.

Data suhu *heatsink* pada Tabel 7, memperlihatkan bahwa suhu *heatsink* pada 2 modul peltier lebih tinggi dari pada suhu *heatsink* 1 modul peltier, sehingga COP pada 2 modul peltier lebih rendah daripada 1 modul peltier.

Tabel 7. Suhu *heatsink* yang dicapai tiap rangkaian

Jumlah Peltier	Suhu heatsik rata-rata (°C)	
	Kosong	1 liter
1	34,78	35,64
2	37,6	39,6

Pada Tabel 7 diberikan suhu *heatsink* rata-rata. Suhu *heatsink* yang dicapai oleh kedua perlakuan ini berbeda. Suhu *heatsink* dengan 2 peltier lebih besar dibandingkan suhu *heatsink* dengan 1

peltier. Meskipun perbedaannya tidak terlalu banyak ternyata memberi dampak pada nilai COP. Semakin tinggi suhu *heatsink*, maka semakin rendah nilai COP yang didapat. Demikian juga jika semakin rendah suhu *heatsink*, maka semakin tinggi nilai COP yang didapat. Suhu *heatsink* dengan 2 peltier lebih tinggi dibandingkan dengan suhu *heatsink* dengan 1 peltier ini menunjukkan bahwa suhu *heatsink* lebih dari pada suhu dalam *coolbox*, maka dapat terjadi aliran kalor dari *heatsink* ke *coolbox* yang melawan aliran kalor yang ditarik oleh peltier, perbedaan temperatur *heatsink* dengan suhu dalam *coolbox* menghasilkan energi listrik hal ini disebut efek *seeback*.

KESIMPULAN

1. Bertambahnya jumlah modul peltier mempercepat proses dan penurunan suhu semakin rendah. Pada *coolbox* kosong, suhu terendah turun dari 21⁰C (1 peltier) menjadi 19⁰C (2 peltier). Pada *coolbox* berisi 1 liter air, suhu terendah turun dari 22,8⁰C (1 peltier) menjadi 22,6⁰C (2 peltier).
2. Pemakaian dua modul peltier dalam proses melepaskan energi kalor lebih besar dibandingkan satu peltier. Secara spesifik, kalor yang dilepas adalah 4297,2 J pada pemakaian dua peltier dan 3000 J satu peltier untuk *coolbox* kosong, dan 27418,9 J pada pemakaian dua peltier dan 22608,55 J satu peltier untuk *coolbox* berisi 1 liter air.
3. Performa modul peltier sangat ditentukan pada sistem pembuangan kalor yang dipakai. Semakin baik sistem pembuangan kalor yang pakai, maka semakin baik performa modul peltier yang dicapai. Pada penelitian ini, performa yang diperoleh yaitu pada *coolbox* kosong 4,38% untuk 1 peltier dan 3,66% untuk 2 peltier. Untuk *coolbox* berisi air 1 liter 2,75% untuk satu peltier dan 2,31% untuk dua peltier. Performa paling baik yaitu terdapat pada *coolbox* kosong dengan satu peltier kemudian dua peltier.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, C. 2010. Efek Beban Pendingin Terhadap Performa Sistem Mesin Pendingin. Jurnal SMARTek vol 8. No 3.
- Ansyori, 2017 . Rancang Bangun Sistem Generator Termoelektrik Sederhana Sebagai Pembangkit Listrik Dengan Menggunakan Metode Seebeck Effect. Skripsi Jurusan Fisika. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Aziz, A., R.I. Mainil, A.K. Mainil, Syafri dan M.F. Syukrillah. 2017. Design Of Portable Beverage Cooler Using One Stage Thermoelectric Cooler (TEC) Module. Aceh Int. J. Technol. 7(1).
- Despa. D., Nama. F.G dan Septiana. T., Saputra. B.M. 2021. Audit Energi Listrik Berbasis Hasil Pengukuran dan Monitoring Besaran Listrik Pada Gedung A Fakultas Teknik Unila. Universitas Lampung Bandar Lampung. Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro Vol. 15. No.1.
- Giancoli, D. C. 2001. Fisika Jilid 1. Edisi Kelima. Erlangga: Jakarta.
- Gultom, N.R., R.I. Mainil dan A. Aziz. 2016. Pengujian Mesin Pendingin Minuman Protoble Kapasitas 4,7 Liter Dengan Modul Termoelektrik Menggunakan Aluminium dan Tanpa Aluminium. Jom Fteknik 3(2).
- Irmansyah. E., Abrar dan Ajiwiguna. A.T. 2017. Rancang Bangun dan Realisasi Alat Ukur Performasi Pendingin Termoelektrik. Universitas Telkom. Proceeding of Engineering Vol. 4. No. 1.
- Jatmiko. A. W. 2014. Kotak Pendingin Berbasis Thermoelectric. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
- Khalid, M., Syukri, M., dan Gapy., M, 2016. Pemanfaatan Energi Panas

- Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Berskala Kecil Dengan Menggunakan Termoelektrik, Jurnal Online Teknik Elektro.
- Mangsur. 2010. Pengembangan Coolbox Tipe Cb-02 Multi Fungsi Ramah Lingkungan Berbasis Termoelektrik Untuk Kendaraan Roda Dua. Skripsi Universitas Indonesia (Tidak Diterbitkan).
- Mainil, R.I., Aziz A., dan Kurniawan A. M. 2015. Penggunaan Modul Termoelektrik Sebagai Elemen Pendingin Box Cooler. Paper Seminar Nasional XIV Kampus ITENAS. Pekanbaru.
- Mainil, A.K., A. Aziz dan M.Akmal. 2018. Portable Thermoelectric Cooler Box Performance With Variation Of Input Power And Cooling Load. Aceh Int. J. Technol. Vol.7.No.2.
- Merdekawati, I.Y., Erari. I. S dan Muslimin. M.A. 2021. Penggunaan Modul Peltier Sebagai Sistem Pendingin Coolbox. Program Studi Fisika. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Papua. Jurnal Natural. Vol.17.No.2.
- Mirmanto, R. Susanto dan D.K. Putra. 2018. Unjuk Kerja Kotak Pendingin Termoelektrik Dengan Variasi Laju Aliran Massa Air Pendingin. Program Studi Teknik Mesin. Vol.7.No.1.
- Mirmanto, R. Sutanto., Syarhul dan Wirawan. M. 2021. Teori Dasar dan Aplikasi Pendingin Termoelektrik (Pendingin Tanpa Freon). Deepublish: Yogyakarta.
- Munawir., Sasongko.N. M dan Hamidi. N. 2021. Kinerja Thermoelectric pada Kotak Pendingin Berdasarkan Rangkaian Thermoelectric dan Putaran Fan Wind Tunnel. Program Studi Teknik Mesin.Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya. Jurnal Rekayasa Mesin. Vol.12.No.1.
- PERTAMINA. 2013. Musicool. <http://www.pertamina.com/en/our-business/downstream/marketing-and-trading/product-and-service/business-solution/gas-products/musicool/>
- Santosa, N.B. 2015. Mengenal Thermo-Eleektrik Peltier. Pppptk Boe Malang.Vedcmalang.Com/Pppptk boemg/Index.Php/Menuutama/Lis trik-Electro/1292-Mengenal-Thermo-Electric-Peltier [20 Juni 2017]..
- Sormin, I.A., Gunadya. I.B.P dan Aviantara. I.G. N. A. 2021. Kinerja Kotak Pendingin (Cooler Box) Berpendingin TEC1-12715 Pada Beberapa Beban Pendinginan. Program Studi Pertanian. Fakultas Teknologi Pertanian. Universitas Udayana. Jurnal Biosistem. Vol.11.No.1.
- Stoecker, W.F., Jones J. W. 1982. Refrigerasi Dan Pengkondisian Udara Edisi Kedua. Erlangga: Jakarta.
- Sulistianto, N, 2014, Pemodelan Sistem Pendingin Termoelektrik Pada Modull Superlumiance LED, Jurnal EECCIS Vol. 8, No. 1.
- Tamer. G., Erdem. C. 2018. Thermoelectric Coolers (Tecs): From Theory To Practice. Journal Of Electronic Materials. The Mineral and Materials Society
- Tipler, P.A. 1991. Fisika Untuk Sains Dan Teknik Jilid I Erlangga: Jakarta.
- Young, H.D., Freedman R.A. 2002. Fisika Universitas Jilid 1. Edisi Kesepuluh. Erlangga: Jakarta.
- Zemansky, M. W., Ditman R.H. 1986. Kalor Dan Termodinamika. ITB: Bandung.
- Zhao, D., Tan. G. 2014. A Review Of Thermoelectric Cooling: Materials, Modeling And Applications. Applied Thermal Engineering 66.